



TITLE:

Application of femtosecond laser induced birefringence inside silica glass to a polarization imaging camera(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Ohfuchi, Takafumi

CITATION:

Ohfuchi, Takafumi. Application of femtosecond laser induced birefringence inside silica glass to a polarization imaging camera. 京都大学, 2017, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2017-09-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20706>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により要旨は2017-12-23に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	大 淵 隆 文
論文題目	Application of femtosecond laser induced birefringence inside silica glass to a polarization imaging camera （石英ガラス内部のフェムト秒レーザ誘起複屈折の偏光イメージングカメラへの応用）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、石英ガラス内部にフェムト秒レーザを集光照射することで形成されるナノ周期構造からなる誘起複屈折領域を配列させた波長板アレイ、およびそれを用いた新規な偏光イメージングカメラの開発を目的として行った研究の結果をまとめたものであり、序章および三章から構成されている。</p> <p>序章では、フェムト秒レーザによるガラスの内部構造改質について概観し、構造改質の結果として誘起されるナノ周期構造に焦点を当て、ナノ周期構造が屈折率の周期的な変化を伴うことに起因する構造的複屈折（誘起複屈折）に着目し、フェムト秒レーザによるホログラフィック材料プロセッシング技術とナノ周期構造由来の誘起複屈折とを組み合わせることで、新規な複屈折光学素子を提案しその原理を説明している。さらに、光の偏光情報を取得する偏光イメージングカメラの主要な光学部品である波長板アレイに、本複屈折光学素子を用いた新規偏光イメージングカメラと既存の偏光イメージングカメラとを比較することで、偏光解析方法の違いによるデバイス特性の優位性や既存製品の問題点を示し、本論文の意義を明らかにしている。</p> <p>第一章では、ガラス内部に形成される複屈折領域の特性とフェムト秒レーザ照射条件との相関について調べ、高品質な複屈折光学素子の作製を目的に、透過損失を抑えた状態で要求される位相差が得られる照射条件を見出している。また、複屈折領域を光軸に対して垂直な方向から観測することで、酸素欠陥やナノ空孔が高密度に集まる幅数十 nm の層が自己組織化され、周期的に配列することで複屈折領域が形成されること、および周期構造の向きがレーザの偏光（電場の向き）に対して垂直に形成されることを観測すると共に、透過率の低下を防ぐためには、酸素欠陥やナノ空孔からなる層がレーザの光軸方向に対して分断されない条件でレーザ照射することが重要であり、この酸素欠陥やナノ空孔層の分断により屈折率分布が不均一になることで光散乱による損失が大きくなり、透過率が低下することを明らかにしている。さらに、より高精細な加工が可能である高 NA（開口数）の対物レンズ使用時において、誘起複屈折領域の位相差を増大させる方法も考案している。位相差の増大には、ガラス内部のレーザの光強度分布が重要と考え、空間光位相変調器により意図的に球面収差を加え、ガラス内部の集光領域における空間強度分布を制御することで、ガラス内部の任意の加工深さに実用上必要な位相差を得るためのナノ周期構造形成（複屈折制御）に成功している。</p> <p>第二章では、偏光解析方法と解析精度に関して、シミュレーションと実験の両面から考察している。ガラス内部の誘起複屈折領域は三次元的に空間分布を有しているため、それらを補完する偏光解析方法が新たに必要となることから、偏光を表すストークスパラメータと検出される光強度を、波長板アレイの隣接する 4 つのセルの特性で決まる 4 次の正方行列によって関係づけ、偏光解析を行う方法を考案している。また、波長板アレイの特性が偏光解析に及ぼす影響をシミュレーションと実験結果との相互補完により調べ、波長板アレイの特性で決まる行列式の絶対値を大きくすることで解析エラーが小さくなることも見出している。さらに、形成されたナノ周期構造に起因する誘起複屈</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	大 淵 隆 文
<p>折領域の周期配列により作製した波長板アレイの優位性を示すため，偏光解析におけるストークスパラメータの符号により，楕円偏光の回転方向の区別が可能であることを示すと共に，可視光全域にわたる複数波長での偏光解析にも成功している．</p> <p>第三章では，実際に撮像素子サイズの波長板アレイ，およびそれを組込んだ偏光イメージングカメラを作製し，そのカメラの性能評価の結果を示している．パターンの向きが異なる周期構造からなる波長板アレイを高速かつ高精度で得るために，空間光位相変調器を用いたホログラフィック多点同時フェムト秒レーザ集光照射システムを構築し，撮像素子サイズに合わせた波長板アレイ（セルサイズ：$16.5\ \mu\text{m} \times 16.5\ \mu\text{m}$，ピクセル数：$596 \times 354$）を作製するとともに，それを組込んだ偏光イメージングカメラの作製に成功している．カメラの特性評価として，偏光子フィルム，光学活性を有する溶液を評価対象として選択し，偏光子フィルムでは，異なる方位に配置した4枚の偏光子フィルムを同時に撮影し，各フィルムの透過軸を2度以内の誤差で計測することに成功している．光学活性を有する溶液には，異符号の比旋光度を有するグルコース溶液とフルクトース溶液を用い，溶液透過後の光を解析することで，溶液の旋光性や変旋光が観測可能であることを示している．</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、石英ガラス内部にフェムト秒レーザを集光照射することで形成される、ナノ周期構造からなる誘起複屈折領域を配列させた波長板アレイ、およびそれを用いた新規な偏光イメージングカメラの開発を目的として研究を行った成果についてまとめたものであり、本研究で得られた主な成果は次のとおりである。

(1)高品質な複屈折光学素子を作製するために、透過損失を抑えた状態で、要求される位相差が得られる照射条件を見出すとともに、高 NA の対物レンズ使用時において、誘起複屈折領域の位相差を増大させる方法を考案した。空間光位相変調器により意図的に球面収差を加え、ガラス内部の集光領域における空間強度分布を制御することで、ガラス内部の要求される加工深さに実用上必要な位相差が得られる複屈折が発現可能であることを明らかにした。

(2)偏光を表すストークスパラメータと検出される光強度を、波長板アレイの隣接する4つのセルの特性で決まる4次の正方行列によって関係づけることで、偏光解析が可能であることを明らかにした。また、波長板アレイの特性が偏光解析に及ぼす影響を、シミュレーションと実験との相互補完により調べ、波長板アレイの特性で決まる行列式の絶対値を大きくすることで解析エラーが小さくなることを見出した。さらに、偏光解析におけるストークスパラメータの符号により、楕円偏光の回転方向の区別が可能であること、可視光全域に渡る複数波長での偏光解析が可能であることを示し、誘起複屈折領域を配列させた波長板アレイの優位性を明らかにした。

(3)パターンの向きが異なる周期構造からなる波長板アレイを高速かつ高精度で得るために、空間光位相変調器を用いたホログラフィック多点同時フェムト秒レーザ集光照射システムを構築し、波長板アレイ（セルサイズ： $16.5\ \mu\text{m} \times 16.5\ \mu\text{m}$ 、ピクセル数： 596×354 ）を作製するとともに、それを組込んだ新しい方式の偏光イメージングカメラの作製に成功した。偏光子フィルムおよび光学活性を有する溶液を評価対象とし、偏光子フィルムでは、異なる方位に配置した4枚の偏光子フィルムを同時に撮影し、各フィルムの透過軸を2度以内の誤差で計測できることを明らかにした。また、光学活性を有する溶液として異符号の比旋光度を有するグルコース溶液とフルクトース溶液を用い、溶液の旋光性や変旋光が観測可能であることを示した。

以上、本論文では、フェムト秒レーザの集光照射によるガラス内部の誘起複屈折を応用した新規な複屈折光学素子を提案し、誘起複屈折領域の特性を補完する新たな偏光解析方法を見出すことで、従来とは異なる方式の偏光イメージングカメラの作製に成功しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年8月17日、論文内容とそれに関連した事項について諮問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

氏 名	大 淵 隆 文
-----	---------

なお、本論文は、京都大学学位規定第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、(平成29年12月31日までの間)当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日：平成 29 年 12 月 23 日以降